

Ю.О. Давідіч, Г.О. Самчук, Д.М. Копитков, Н.В. Давідіч, О.А. Плигун

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ПРОЦЕСУ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАМОВЛЕНЬ НА ПЕРЕВЕЗЕННЯ

Статтю присвячено розв'язанню проблеми визначення раціональної кількості та рівня використання парку транспортних засобів. Враховуючи ймовірнісну природу транспортного процесу, для розробки імітаційної моделі обслуговування замовлень транспортними засобами запропоновано використовувати програмний продукт AnyLogic. Методами математичної статистики отримано та оцінено залежність, яка описує зміну встановленого критерію.

Ключові слова: раціональна кількість, рівень використання, експеримент, імітаційне моделювання, регресійний аналіз.

Постановка проблеми

Основною метою більшості транспортних підприємств є надання якісних послуг клієнтам з мінімальними витратами. В той же час, важливим чинником є кількість транспортних засобів та рівень їх використання під час виконання замовлень на перевезення. Це обумовлюється тим, що недостатній розмір автомобільного парку призводить до виникнення витрат, пов'язаних з неможливістю виконати замовлення у повному обсязі або виконати його взагалі. Разом з тим, великі інвестиції у придбання, утримання і експлуатацію транспортних засобів призводять до невиправдано високих витрат, якщо рівень використання автомобільного парку під час здійснення перевезень є недостатнім.

Таким чином, визначення кількості необхідних транспортних засобів та рівня їх використання є актуальним завданням, належне розв'язання призводить до повного й своєчасного обслуговування замовлень на перевезення та сприяє підвищенню конкурентоздатності транспортного підприємства на ринку транспортних послуг за сучасних умов господарювання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Задача визначення оптимального розміру парку рухомого складу є актуальною як для пасажирських, так й вантажних перевезень різними видами транспорту. Вона полягає у визначенні такої кількості транспортних засобів у парку, яка з одного боку, забезпечувала виконання замовлень на перевезення, що знаходяться, а з іншого – дозволяла б уникнути високих постійних витрат, пов'язаних із присутністю транспортних засобів, що не

використовуються на належному рівні, а більшість часу простоюють.

Запропоновано низку моделей управління парком транспортних засобів, які розглядають вхідні дані як детерміновані або стохастичні. Детерміновані моделі передбачають, що вхідні параметри (наприклад, транспортний попит, пропозиція та тривалість операцій) є незмінними значеннями, тоді як стохастичні моделі враховують ймовірнісну природу процесів, досліджуються закони розподілу випадкових величин.

Управління парком рухомого складу різних видів транспорту є відповідною задачею на тактичному та експлуатаційному рівнях. Науковці розглядають переважно динамічне управління парком рухомого складу [1], оскільки непередбачені події можуть вплинути на виконання транспортних операцій – затримки, поломки тощо. Динамічне управління автопарком використовує інформацію, що надається комунікаційними технологіями з метою покращення використання в режимі реального часу транспортних ресурсів.

Автори статті [2] представляють класифікацію проблем щодо парку рухомого складу у розрізі морських та автомобільних перевезень. У дослідженнях [3–7] вирішуються задачі визначення розміру парку залізничних вагонів, стаття [8] присвячена питанню визначення розміру парку для каршерінгових систем.

У статті [9] розглядається задача визначення кількості транспортних засобів у складі парку (FS) та їх типів (FC). Авторами запропонована математична модель (метод оптимізації), що передбачає FS/FC-аналіз. Для проблеми розміру парку рухомого складу науковці пропонують багатокритеріальну оптимізацію [10]. Дослідження

[11] присвячено розробці моделей формування раціональної структури парку перевезення вантажів, в наслідок чого пропонується враховувати вплив на склад автопарку випадкових характеристик потоку заявок на перевезення, а критерієм ефективності при визначенні ефективних автомобілів виступає питомий прибуток.

Імітаційне моделювання є ефективним способом для побудови реалістичних моделей, оскільки у повному ступені враховує чинники впливу зовнішнього середовища.

Серед програмного забезпечення для здійснення імітаційного моделювання найбільш сучасним та потужним інструментом створення моделей для широкого кола завдань є програмний продукт AnyLogic [12], який містить вбудовану бібліотеку для моделювання об'єктів та процесів на транспорті, а також засоби для генерації випадкових величин та статистичної обробки результатів комп'ютерних експериментів.

Автори використовують AnyLogic для вирішення широкого кола проблем, що стосуються вантажних та пасажирських перевезень [13–19]. За допомогою AnyLogic можливо побудувати імітаційну модель зупиночного пункту, змодельувати роботу транспортного вузла, інтермодального терміналу, провести оптимізацію потоків транспортних засобів, визначити оптимальну кількість ресурсів, виконати моделювання ланцюга постачань.

Формулювання мети, об'єкту, предмету та завдань дослідження

Мета дослідження – підвищення ефективності обслуговування замовлень на перевезення шляхом визначення необхідної кількості транспортних засобів.

Об'єкт дослідження – процес обслуговування замовлення на перевезення.

Предмет дослідження – вплив параметрів процесу перевезення на рівень використання автомобілів.

Завдання дослідження: провести аналіз теоретичних розробок; розробити математичну модель процесу обслуговування замовлень; розробити імітаційну модель процесу обслуговування замовлень в середовищі AnyLogic; провести експериментальні дослідження; проаналізувати результати, встановити закономірності та надати практичні рекомендації.

Викладення основного матеріалу

Рівень використання автомобілів є важливим показником функціонування парку, оскільки він показує частку від робочого часу, яку автомобілі зайняті безпосередньо перевезенням вантажів.

Транспортні засоби, які мають низький рівень використання, продовжують потребувати технічного обслуговування, тоді як працюючі транспортні засоби приносять дохід та компенсують ці витрати.

Існують різні способи, за якими можливо оцінити рівень використання транспортних засобів; вони включають пробіг або час; аналіз днів або годин роботи у відсотках від загального робочого часу; кількість транспортних засобів, що експлуатуються за день, у відсотках від доступної кількості.

Враховуючи вищенаведене, рівень використання транспортних засобів (truck utilization) пропонується оцінити як відношення загального часу, що витрачається автомобілями на виконання замовлення, до часу їх роботи:

$$U = \frac{T_{\Sigma}}{Tp_{\Sigma}}, \quad (1)$$

де T_{Σ} – час, що витрачається автомобілями на виконання замовлення, год.;

Tp_{Σ} – загальний час роботи автомобілів, год.

За ефективне вважається використання парку на рівні 0,8. При високому рівні використання автомобілів ($U \rightarrow 1$) виникає ситуація, коли значний відсоток замовлень не будуть обслужені через відсутність вільних транспортних засобів.

Отже, цільова функція має такий вигляд

$$U \rightarrow 0,8. \quad (2)$$

Завдання для моделювання роботи автомобілів складається наступним чином. На склад (пункт С) з певною інтенсивністю надходять заявки на перевезення вантажів. Після чого відбувається завантаження автомобіля і транспортування вантажу замовнику (пункт В), після чого автомобіль розвантажується та повертається назад. Оскільки на етапі навантаження пропускна здатність навантажувального пункту може не дозволяти виконувати процес без виникнення черг, тому додатково урахуємо цей факт у моделі. Перевезення вантажів відбувається маятниковими маршрутами.

Виходячи з вищезгаданого, необхідно змодельувати процес перевезення продукції та визначити оптимальні значення параметрів функціонування для забезпечення цільового значення рівня використання автомобілів.

Тривалість кожної складової транспортного процесу залежить від багатьох факторів, що обумовлює його стохастичну природу. У моделі розглянемо техніко-експлуатаційні показники: середню технічну швидкість, час навантаження, час розвантаження автомобіля як випадкові величини.

Загальний час, що витрачається одним автомобілем на перевезення \tilde{t}_{Σ} , розраховуємо за формулою

$$\tilde{t}_{\Sigma} = \tilde{t}_q + \tilde{t}_l + \tilde{t}_{CB} + \tilde{t}_{ul} + \tilde{t}_{BC}, \quad (3)$$

де \tilde{t}_q – час очікування транспортного засобу в черзі на навантаження (за наявності), год;

\tilde{t}_l – час на навантаження транспортного засобу, год;

\tilde{t}_{CB} – час на переміщення від C до B , год.;

\tilde{t}_{ul} – час на розвантаження транспортного засобу, год.;

\tilde{t}_{BC} – час на переміщення від B до C , год.

Час на переміщення від C до B залежить від параметрів маршруту, який обирає водій для виконання перевезення. Проведені авторами дослідження показали, що частка автомобілів, що пересуваються m -м маршрутом руху між пунктами навантаження та розвантаження може бути формалізовано таким чином:

$$K = f\left(\frac{V_i}{V_{krat}}, \frac{L}{L_{krat}}, TN, AD\right), \quad (4)$$

де $\frac{V_i}{V_{krat}}$ – відношення швидкості руху по i -му маршруту до швидкості руху по найкоротшому маршруту;

$\frac{L}{L_{krat}}$ – відношення довжини i -го маршруту до довжини найкоротшого маршруту;

TN – індивідуальні особливості водіїв, які визначаються типом нервової системи;

AD – вік водія.

Так, наприклад, модель зміни частки автомобілів, що пересуваються альтернативними маршрутами руху при керуванні водіями віком 30-50 років з типом нервової системи «флегматик», має такий вигляд

$$K_{30-50}^{flegm} = \frac{0,27 \cdot V_m}{V_{krat}} - \frac{0,074 \cdot L_m}{L_{krat}}. \quad (5)$$

Отримані закономірності вибору маршрутів руху використовувалися для визначення часу на переміщення.

Таким чином, показник рівня використання автомобілів, також буде випадковою величиною.

На рис. 1 зображено процес виконання замовлення на перевезення у загальному вигляді.



Рис. 1. Процес виконання замовлення на перевезення у загальному вигляді (включаючи варіативність вихідних даних)

Вхідні дані: кількість автомобілів, інтенсивність надходження замовлення, відстань перевезення; фактори, які дозволяють врахувати вплив зовнішнього середовища: середня технічна швидкість, час навантаження та розвантаження. Вихідні дані: рівень використання автомобілів.

Дослідити процес виконання замовлення на перевезення, використовуючи лише аналітичні методи недоцільно, тому використовуємо імітаційне моделювання.

Для побудови моделі використовувалося програмне забезпечення AnyLogic 8 Personal Learning Edition 8.7.2. На рис. 2 представляємо послідовність створення імітаційної моделі.

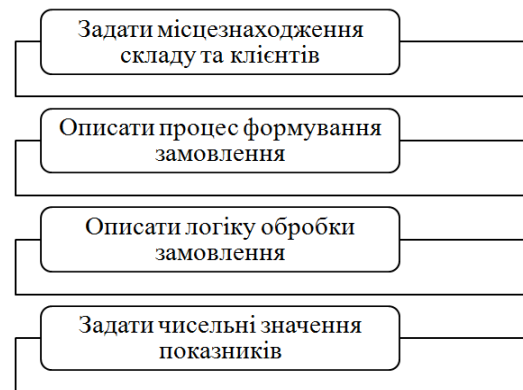


Рис. 2. Послідовність створення імітаційної моделі

Створюємо нову модель, вказуємо модельний час – хвилини. Для моделювання процесу використовуємо бібліотеку моделювання процесів, компоненти з палітри «Агент» та «Розмітка простору», а також «Статистика» для збору даних.

Задаємо взаємне розташування складу та клієнтів, використовуючи розмітку простору. Для моделювання складу, клієнтів та автомобілів використовуються агенти. Далі моделюємо процес формування замовлення клієнтами на отримання партії вантажу, для цього використовується діаграма станів. Цей процес характеризується інтенсивністю..

При формуванні логіки обробки замовлення необхідно показати, що автомобілі є ресурсом складу для виконання замовлення. Для цього відкриваємо створений раніше агент, за допомогою

якого задали склад, і з палітри бібліотеки моделювання процесів переносимо на поле графічного редактора блок ResourcePool, перейменовуємо блок у «trucks». Цей блок задає набір доступних ресурсів, тобто автомобілів та обчислює рівень використання автомобілів (utilization).

Отже, після отримання замовлення виділяється ресурс (автомобіль), він завантажується, потім автомобіль спрямовується до клієнта та розвантажується. Після цього автомобіль повертається, стаючи вільним ресурсом.

Формування технологічного процесу перевезення у середовищі AnyLogic розглянемо більш детально. Дамо коротку характеристику кожного об'єкта діаграми, які необхідно взяти із бібліотеки моделювання процесів [20].

Блок Seize захоплює для агенту задану кількість ресурсів із блоку ResourcePool. Для звільнення ресурсу використовуємо блок Release. Далі агент знищується за допомогою блоку Sink.

Блок ResourceTaskStart позначає початок діаграми, що моделює процес виконання замовлення.

Блок Queue використовуємо для моделювання черги на навантаження.

Блок Delay затримує агентів на заданий час, вказується також його місткість. З його

використанням моделюємо процес навантаження (розвантаження) та кількість постів навантаження. Перейменовуємо блоки на «loading» та «unloading».

За допомогою блоку MoveTo задаємо рух транспортних засобів у прямому (MoveTo) та зворотному (MoveBack) напрямках, задається також швидкість руху.

Кінець діаграми процесу завершуємо блоком ResourceTaskEnd.

AnyLogic надає зручні засоби для збору статистики щодо роботи блоків діаграми процесу. Статистику щодо часу, який витрачається на виконання замовлення автомобілями, збираємо за допомогою блоків TimeMeasureStart і TimeMeasureEnd («timeTotal») з бібліотеки моделювання процесів. Щоб виміряти час, проведений агентами (автомобілями) на певному відрізку діаграми процесу, розміщуємо ці блоки відповідно на початку та кінці відрізка, що цікавить. Перший блок зберігає час проходження агента через блок, а другий вимірює час, який агент провів на відрізку діаграми процесу після того, як покинув перший блок.

З'єднаємо усі блоки, на рис. 3 приведена діаграма процесу виконання замовлення на перевезення.

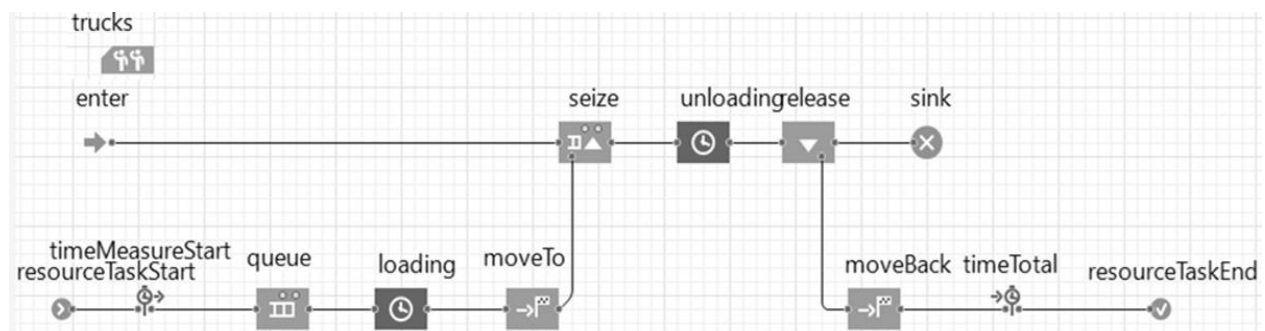


Рис. 3. Діаграма процесу виконання замовлення на перевезення

Час навантаження (розвантаження) T моделюється за допомогою нормального закону розподілу із математичним очікуванням 0,5 год та середнім квадратичним відхиленням 0,05 год, тобто $T \sim N(0,5; 0,05)$, а середня технічна швидкість – $V_t \sim N(50; 0,5)$.

Використовуємо компонент параметр з палітри «Агент» для задання чисельних значень показників, які будемо автоматично варіювати під час експериментальних досліджень – кількість автомобілів та інтенсивність надходження замовлень.

За замовчуванням, статистика збирається для всіх блоків Бібліотеки. Для відображення рівня використання автомобілів у часі додаємо графік до діаграми (Truck utilization). Крім того, додатково обчислюється кількість необроблених замовлень, використання навантажувального механізму,

довжина черги, розподіл часу. Візуалізуємо результати обчислення середньої зайнятості навантажувального пункту (loading), довжини черги у навантажувальному пункті (Queue size) та за допомогою гістограм надаємо зібрану статистику розподілу загального часу перевезення (Total time).

Експериментальні дослідження спрямовані на одержання вихідної інформації для визначення закономірності зміни використання автомобілів від відстані перевезень, кількості автомобілів та інтенсивності надходження замовлень.

$$U = f(L, A, N). \quad (6)$$

Для того, щоб провести дослідження, створимо у AnyLogic експеримент варіювання параметрів. Для врахування стохастичності у моделі у вікні

«Свойства» експерименту позначасмо, що прогони є унікальні, а кожна ітерація має 100 реплікацій (рис. 4).

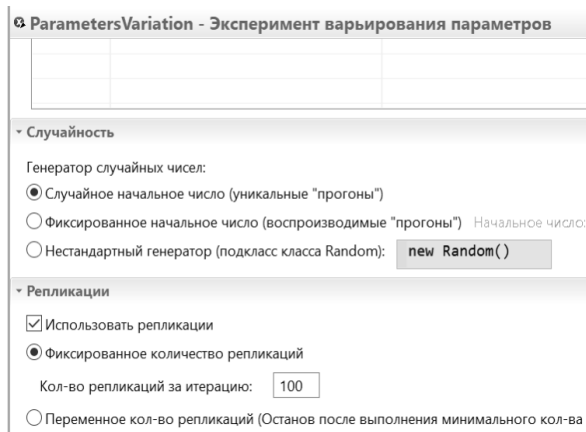


Рис. 4. Налаштування властивостей експерименту

Дані, які збираються за результатами експерименту, для зручності будуть записані в робочу книгу Excel. Щоб здійснити запис потрібно додати компонент «файл Excel» на лист експерименту і вказати, що буде записуватися значення рівня використання автомобілів (utilization) після кожної реплікації в секції «Действия Java», а також

поставити позначку, щоб зберігати дані при припиненні роботи моделі. Також на аркуші експерименту для збору даних по реплікації потрібно створити «Набор данных».

Для розробки плану експерименту визначили інтервали варіювання вхідних факторів: $L \in [10;30]$, $A \in [1;3]$, $N \in [0,6;1]$. У табл. 1 наведено межі та крок варіювання факторів експерименті.

Таблиця 1.

Межі варіювання факторів у експерименті

Фактор	Умовне позначення	Нижня межа	Верхня межа	Крок
Відстань перевезення, км	L	10	30	10
Кількість автомобілів, од.	A	1	3	1
Інтенсивність надходження замовлень, од./год.	N	0,6	1	0,2

На рис. 5 представлено налаштування експерименту для варіювання параметрів, відстань перевезень задається окремо.

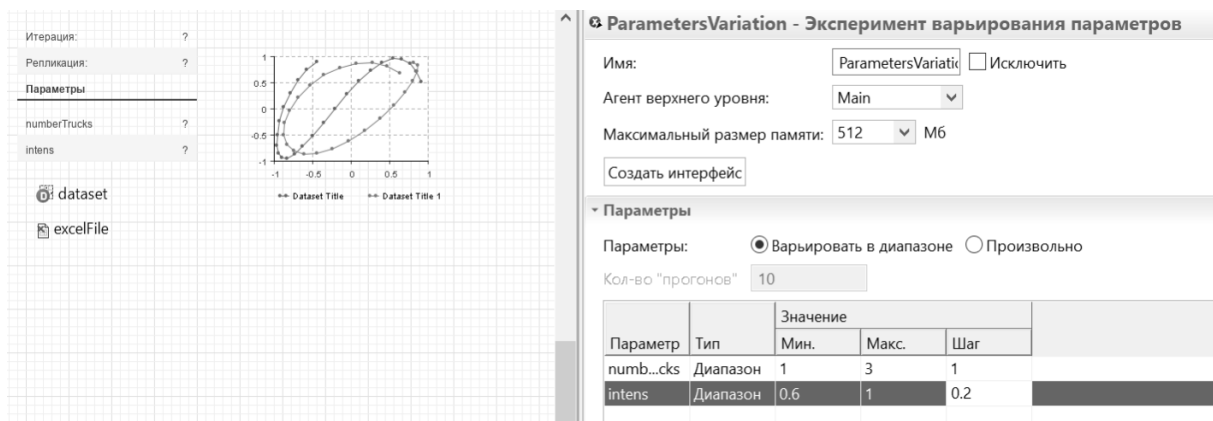


Рис. 5. Налаштування властивостей експерименту (секція параметри)

Визначаємо необхідну кількість дослідів:

V_i – кількість рівнів варіювання i -го фактора.

$$N_o = \prod_{i=1}^{n_\phi} V_i \quad (7)$$

$$N_o = 3 \cdot 3 \cdot 3 = 27 \text{ серій.}$$

де n_ϕ – кількість факторів;

План експерименту надаємо у табл. 2.

Таблиця 2.

План експерименту

Номер серії	L	A	N	Номер серії	L	A	N	Номер серії	L	A	N
1	10	1	0,6	10	20	1	0,6	19	30	1	0,6
2	10	1	0,8	11	20	1	0,8	20	30	1	0,8
3	10	1	1	12	20	1	1	21	30	1	1
4	10	2	0,6	13	20	2	0,6	22	30	2	0,6

5	10	2	0,8	14	20	2	0,8	23	30	2	0,8
6	10	2	1	15	20	2	1	24	30	2	1
7	10	3	0,6	16	20	3	0,6	25	30	3	0,6
8	10	3	0,8	17	20	3	0,8	26	30	3	0,8
9	10	3	1	18	20	3	1	27	30	3	1

Для обґрунтування необхідної кількості дослідів в серіях експерименту проведені пілотні розрахунки. Пілотний експеримент проводився для нижніх, середніх та верхніх меж факторів, таким чином отримали 3 серії. У кожній серії пілотного експерименту проведено по 100 дослідів.

За результатами пілотного експерименту перевірена гіпотеза про нормальний розподіл функції відгуку – використання автомобілів.

Для перевірки гіпотези провели статистичну обробку результатів за допомогою програми Statgraphics Centurion 18. У наслідку цієї обробки гіпотеза про нормальний розподіл функції відгуку не відхиляється. На рис. 6 представлені результати, отримані для першої серії пілотного експерименту

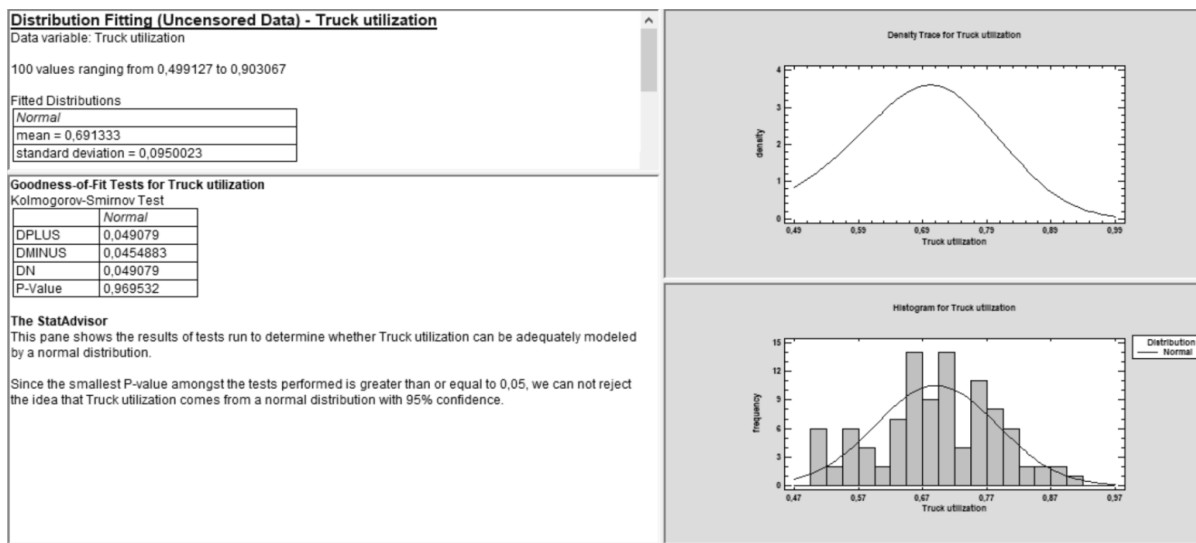


Рис. 6. Результати перевірки гіпотези про нормальний закон розподілу

Гіпотеза про нормальний розподіл випадкової величини використання автомобілів не відхилена для всіх серій пілотного експерименту.

Оскільки функція відгуку описуються нормальним законом, обсяг вибірки (кількість дослідів) визначають за такою залежністю

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\varepsilon^2}, \quad (8)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення сукупності;

t – числове значення стандартизованого відхилення інтегральної функції нормального розподілу;

ε – значення дозволеної помилки.

$$\varepsilon = (1 - \beta) \cdot y, \quad (9)$$

де β – рівень довірчої ймовірності;

y – середнє арифметичне значення функції відгуку.

Наводимо приклад розрахунку для першої серії

$$n = \frac{1,96^2 \cdot 0,0095}{((1 - 0,95) \cdot 0,67)^2} = 29.$$

Результати для інших серій пілотного експерименту зводимо до табл. 3.

Таблиця 3.
Результати розрахунків потрібної кількості дослідів у серіях

Показник	Серія дослідів пілотного експерименту		
	1	2	3
Середнє значення	0,69133	0,560175	0,560549
Середнє квадратичне відхилення	0,09452	0,076511	0,062131
Необхідна кількість дослідів	29	29	19

Отже, 100 дослідів (реплікацій) у серії є достатніми. За допомогою розробленої у середовищі AnyLogic моделі проводимо імітаційний експеримент відповідно до розробленого плану, який включає 27 серій по 100 дослідів.

Для встановлення функціональної залежності між вхідними факторами та рівнем використання автомобілів застосовуємо регресійний аналіз. Використовуємо програмне забезпечення Statgraphics Centurion 18 для визначення коефіцієнтів регресійних моделей.

До вихідних даних, що надає програмний продукт, входять:

- змінні: ідентифікація залежної змінної; коефіцієнти: розрахункові коефіцієнти, стандартні помилки, Ш-статистика та значення P ;

- аналіз дисперсії: особливий інтерес являє F -тест та пов'язане з ним значення P , що перевіряє статистичну значимість встановленої моделі;

- статистика: зведені статистичні дані для встановленої моделі, включаючи R -квадрат, скоригований R -квадрат, стандартна похибка оцінки, середня абсолютна похибка [21].

На рис. 7 наведено результати підбору моделі множинної лінійної регресії для опису взаємозв'язку між використанням вантажного автомобіля (Truck utilization) та трьох незалежних змінних.

Отже, відповідно до рис. 7 рівнянням моделі є наступне

$$U = 0,552 + 0,005 \cdot L - 0,248 \cdot A + 0,564 \cdot N. \quad (10)$$

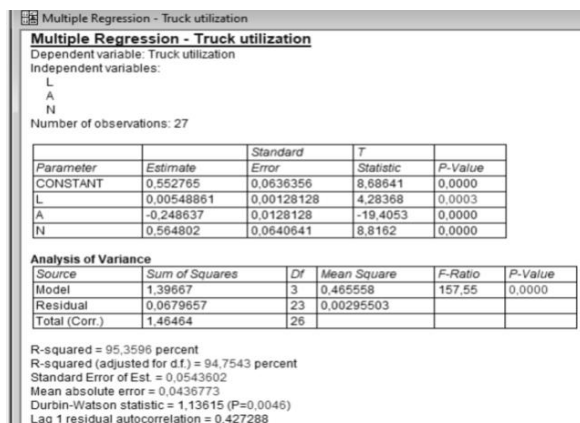


Рис. 7. Результати регресійного аналізу

Оскільки значення P у таблиці «Analysis of Variance» (рис. 7) менше за 0,05, існує статистично значуща залежність між змінними на рівні 95,0% довіри. R -Squared вказує, що встановлена модель пояснює 95,4% варіації показника використання автомобілів, і достатньо високу якість моделі.

На рис. 8–10 наводимо закономірності зміни рівня використання автомобілів від вхідних параметрів.

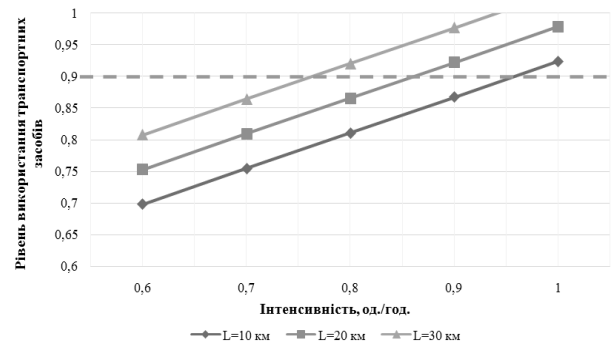


Рис. 8. Графік залежності рівня використання автомобілів від інтенсивності надходження замовлень ($A=1$)

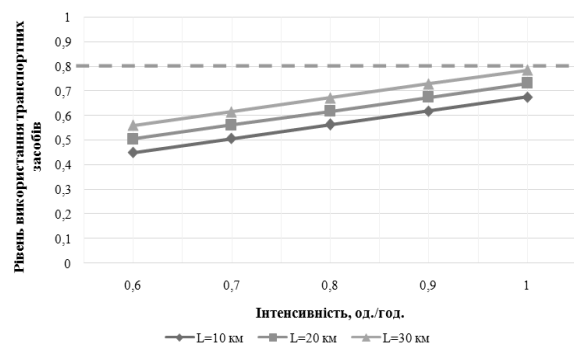


Рис. 9. Графік залежності рівня використання автомобілів від інтенсивності надходження замовлень ($A=2$)

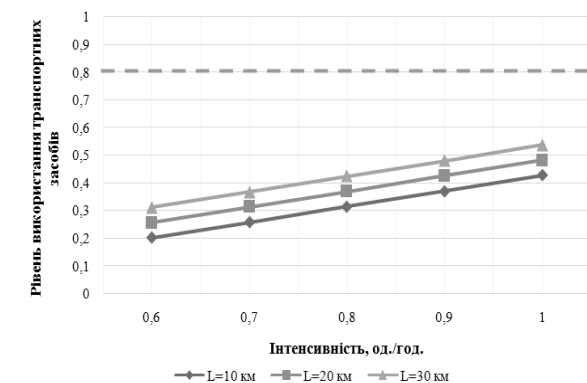


Рис. 10. Графік залежності рівня використання автомобілів від інтенсивності надходження замовлень ($A=3$)

Аналізуючи представлені результати, бачимо, що при наявності одного автомобіля спостерігається перевищення заданого рівня використання для більшості варіантів комбінації значень вхідних параметрів. Один автомобіль може застосовуватися на відстані перевезення до 20 км та інтенсивності надходження замовлень до 0,7 од./год (рис. 8).

Показник рівня використання при наявності трьох автомобілів варіюється від 0,2 до 0,55, такі значення вказують на те, що більше половини робочого часу автомобілі простоюють, що негативно впливає на дохід підприємства.

Отже, для заданих інтервалів зміни вхідних даних, доцільно експлуатувати два автомобіля, при цьому рівень використання транспортних засобів буде прямувати до цільового значення.

При двох автомобілях та максимальних значеннях інтенсивності надходження замовлень і відстані перевезень, було змодельовано процес обслуговування замовлень, результати представлено на рис.11.

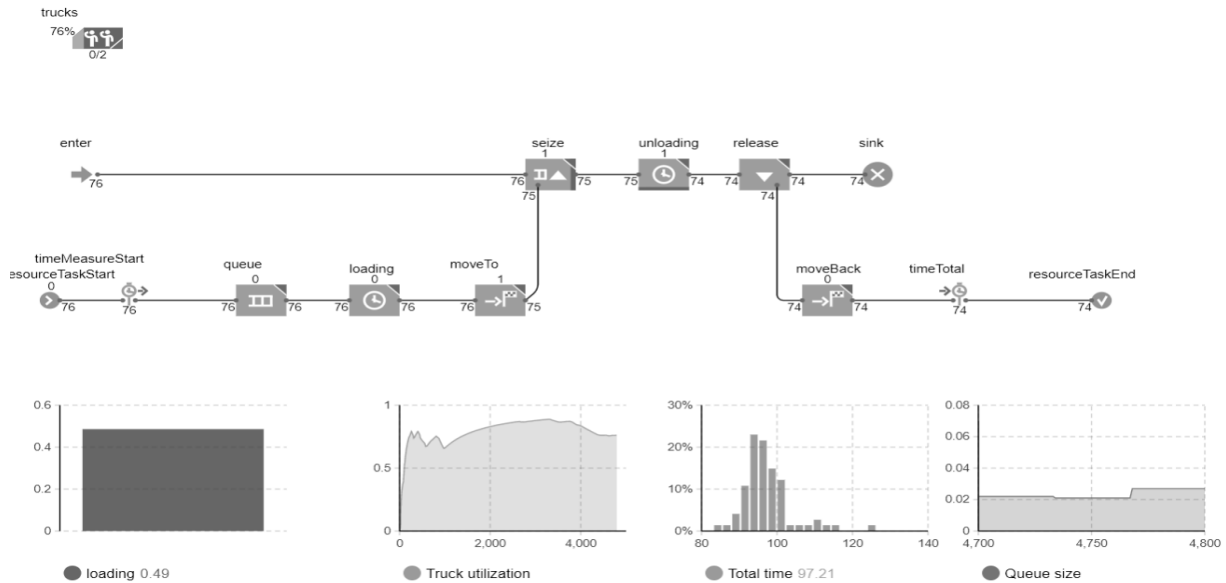


Рис. 11. Результати моделювання при $A=2$

На діаграмі процесу відображені основні числові характеристики процесу обслуговування замовлень та його окремих підпроцесів. Так, використання автомобілів складає 0,76, за період моделювання надійшло 76 замовлень, 75 з яких було обслуговано. Аналізуючи отримані дані, доцільно звернути увагу на те, що під час навантаження транспортного засобу виникає непродуктивний простій транспортних засобів у черзі.

Висновки

В результаті аналізу сучасних літературних та Інтернет-джерел, встановлено, що завдання визначення раціонального розміру парку транспортних засобів та рівня його використання для виконання замовлень на перевезення не є вирішеним у повному ступені.

Виходячи з аналізу критеріїв запропоновано обґрунтовування розміру парку транспортних засобів за рівнем використання автомобілів, що визначається як відношення часу, при якому автомобілями виконується перевезення, до загального робочого часу.

Враховуючи ймовірнісну природу транспортного процесу, у середовищі AnyLogic розроблено імітаційну модель виконання замовлень парком вантажних автомобілів.

Розроблено план експерименту, що відтворює реальні умови виконання замовлень на перевезення

і складається з 27 серій, кожна з яких має 100 дослідів. Інтервали варіювання вхідних факторів, якими є відстань перевезень, кількість автомобілів та інтенсивність надходження замовлень на годину склали [10;30], [1;3] та [0,6;1], відповідно.

Внаслідок обробки результатів експерименту методами регресійного аналізу, встановлено, що залежністю зміни рівня використання автомобілів від відстані перевезень, кількості транспортних засобів та інтенсивності надходження замовлень є лінійна. Отриману залежність оцінено за допомогою коефіцієнту детермінації, який склав 0,95, й свідчить про високу якість запропонованої моделі.

Виходячи з наведених умов перевезень, для обслуговування замовлень рекомендовано 2 автомобіля, при цьому зазначений критерій прямує до цільового значення.

Подальшим напрямком досліджень може бути врахування більшої кількості факторів впливу, збільшення інтервалів їх варіювання та отримання залежностей, які б з прийнятною точністю описували зміну запропонованого критерію.

Література

1. Maurizio Bielli et al. *Trends in Models and Algorithms for Fleet Management* / Maurizio Bielli Alessandro Bielli, Riccardo Rossi // *Procedia Social and Behavioral Sciences* 20, 2011. – p. 4–18.
2. Hoff A. *Industrial aspects and literature survey: Fleet composition and routing*/ Andersson H., Christiansen

M., Hasle G., Løkketangen A. // *Computers & Operations Research*, Volume 37, Issue 12, 2010. – p. 2041–2061.

3. Milenković M. A fuzzy random model for rail freight car fleet sizing problem / M Milenković, N Bojović // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 33, 2013. – p. 107–133

4. Sayarshad H. R. Solving a multi periodic stochastic model of the rail-car fleet sizing by two-stage formulation / Sayarshad, H. R., & Tavakkoli-Moghaddam, R. // *Applied Mathematical Modelling*, 34(5), 2010. – p. 1164–1174.

5. Yaghini M. A hybrid metaheuristic algorithm for dynamic rail car fleet sizing problem // M. Yaghini, Z. Khandaghabadi // *Applied Mathematical Modelling* 37 (6), 2013, p. 4127–4138.

6. Sayarshad H.R. A simulated annealing approach for the multi-periodic rail-car fleet sizing problem / H.R. Sayarshad, K. Ghoseiri // *Computers & Operations Research* 36 (6), 2009. – p. 1789–1799.

7. Milenković Miloš S. A stochastic model predictive control to heterogeneous rail freight car fleet sizing problem / Milenković, Miloš S., Bojović, Nebojša J., Švadlenka, Libor, Melichar, Vlastimil // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Elsevier, vol. 82(C), 2015. – p. 162–198.

8. Barrios J.A. Fleet Sizing for Flexible Carsharing Systems: Simulation-Based Approach / J.A Barrios, J.D. Godier // *Transportation Research Record*. 2014;2416 (1): – p. 1-9. doi:10.3141/2416-01

9. Redmer A. Strategic vehicle fleet management - the composition problem / A. Redmer // *LogForum* 11 (1), 2015. – p. 119–126.

10. Zak J. Multiple objective optimization of the fleet sizing problem for road freight transportation / J. Zak // *Journal of Advanced Transportation*, vol. 42, no. 4, 2008, – p. 379–427

11. Наумов В.С. Формування раціональної структури автопарку в умовах випадкових характеристик потоку замовлень на перевезення вантажів: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.01 / Наумов Віталій Сергійович ; Харківський національний автомобільно-дорожній ун-т. - Х., 2006. – 22 с.

12. Anylogic Simulation Software (2019). – Режим доступу: <https://www.anylogic.com>.

13. Bauer Vladimir. Optimization Of Technological Transport Sets Using Anylogic Simulation Environment / Vladimir Bauer, Artem V. Bazanov , Evgeniy S. Kozin , Vasilii M. Nemkov, Aleksandr A. Mukhortov // *Journal of Mechanical Engineering Research & Developments*, 42(2): 2019. – p. 41–43

14. Липенков А.В. Повышение эффективности функционирования городского пассажирского транспорта на основе управления пропускной способностью остановочных пунктов: диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.10 / Липенков Александр Владимирович; . – Нижний Новгород, 2015. – 154 с.

15. Володарець М. В. Особливості застосування AnyLogic для вирішення задач транспортного моделювання / Матеріали міжнародної науково-методичної Інтернет-конференції «Проблеми математичної освіти: виклики сучасності (2018)»

[Електронне мережне наукове видання] : збірник матеріалів. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – С. 280-283.

16. Muravev Dmitri. Multi-agent optimization of the intermodal terminal main parameters by using AnyLogic simulation platform: Case study on the Ningbo-Zhoushan Port / Dmitri Muravev, Hao Hu, Aleksandr Rakhmangulov, Pavel Mishkurov // *International Journal of Information Management*, (57), 2021, p. 102–133.

17. Coman M. The Vehicles Traffic Flow Optimization in an Urban Transportation System by Using Simulation Modeling / M. Coman, D. Badea // *Land Forces Academy Review*, 22, 2017. – p. 190–197.

18. Zhang Y. Research on demand-driven agile supply chain operation model: a simulation based on AnyLogic in system engineering / Y. Zhang, Y. Wang, L. Wu // *Syst. Eng. Procedia* 3 (2012) – p. 249–258.

19. Bannikov D. Model of passenger rolling stock maintenance / D. Bannikov, N. Sirina // *MATEC Web of Conferences* 216, 02018 Polytransport Systems-2018. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821602018>

20. Блоки Библиотеки Моделирования Процессов. – Режим доступу:

<https://help.anylogic.ru/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Fprocessmodeling%2Fpml.html>

21. Regression Analysis – URL: <https://www.statgraphics.com/regression-analysis#Multiple%20Regression>

References

1. Bielli, Maurizio, Bielli, Alessandro & Rossi, Riccardo (2011). Trends in Models and Algorithms for Fleet Management. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 20, 4–18.

2. Hoff, A., Andersson, H., Christiansen, M., Hasle G., & Løkketangen, A. (2010). Industrial aspects and literature survey: Fleet composition and routing. *Computers & Operations Research*, 37 (12), 2041–2061.

3. Milenković, M., & Bojović, N. (2013). A fuzzy random model for rail freight car fleet sizing problem *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 33, 107–133.

4. Sayarshad, H. R., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2010). Solving a multi periodic stochastic model of the rail-car fleet sizing by two-stage formulation. *Applied Mathematical Modelling*, 34(5), 1164–1174.

5. Yaghini, M., & Khandaghabadi, Z. (2013). A hybrid metaheuristic algorithm for dynamic rail car fleet sizing problem. *Applied Mathematical Modelling*, 37 (6), 4127–4138.

6. Sayarshad, H.R., & Ghoseiri, K. (2009). A simulated annealing approach for the multi-periodic rail-car fleet sizing problem. *Computers & Operations Research*, 36 (6), 1789–1799.

7. Milenković, Miloš S., Bojović, Nebojša J., Švadlenka, Libor, & Melichar, Vlastimil (2015). A stochastic model predictive control to heterogeneous rail freight car fleet sizing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Elsevier, 82(C), 162–198.

8. Barrios, J.A., & Godier, J.D. (2014). Fleet Sizing for Flexible Carsharing Systems: Simulation-Based Approach. *Transportation Research Record*, 2416(1), 1-9. doi:10.3141/2416-01.

9. Redmer, A. (2015). Strategic vehicle fleet management – the composition problem. *LogForum 11* (1), 119–126.

10. Zak, Jacek. (2008). Multiple objective optimization of the fleet sizing problem for road freight transportation. *Journal of Advanced Transportation*, 42, (4), 379–427.

11. Naumov, V.S. (2006). Formation of a vehicle fleet rational structure in conditions of random characteristics of the transportation orders' flow. *Candidate thesis*. Kharkiv.

12. Anylogic Simulation Software. (2019). Retrieved from: <https://www.anylogic.com>.

13. Bauer Vladimir, Bazanov, Artem, V., Kozin, Evgeniy, S., Nemkov, Vasiliy, M., & Mukhortov, Aleksandr, A. (2019). Optimization Of Technological Transport Sets Using Anylogic Simulation Environment. *Journal of Mechanical Engineering Research & Developments*, 42(2), 41–43.

14. Lipenkov, A.V. (2015). Improving the efficiency of the urban passenger transportation functioning from managing the stop points' throughput. *Candidate thesis*. Nizhny Novgorod.

15. Volodarets, M.V. (2018). Features of the AnyLogic application for solving problems of transportation simulation. *Materials of the international scientific and methodical Internet conference "Problems of mathematical education: challenges of the present (2018)"*, Vinnytsia, Ukraine, 280–283.

16. Muravev, Dmitri, Hu, Hao, Rakhmangulov, Aleksandr, Mishkurov, Pavel. (2021). Multi-agent optimization of the intermodal terminal main parameters by using AnyLogic simulation platform: Case study on the Ningbo-Zhoushan Port. *International Journal of Information Management*, (57), 102–133.

17. Coman, M., & Badea, D. (2017). The Vehicles Traffic Flow Optimization in an Urban Transportation System by Using Simulation Modeling. *Land Forces Academy Review*, (22), 190–197.

18. Zhang, Y., Wang, Y., Wu, L. (2012). Research on demand-driven lean supply chain operation model: a simulation based on AnyLogic in system engineering. *Syst. Eng. Procedia* 3, 249–258.

19. Bannikov, D., Sirina, N. (2018). Model of passenger rolling stock maintenance. *MATEC Web of Conferences* 216, 02018 *Polytransport Systems-2018*. Retrieved from: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821602018>

20. Process Simulation Library Blocks. Retrieved from: <https://help.anylogic.ru/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Fprocessmodeling%2Fpml.html>

21. Regression Analysis. Retrieved from: <https://www.statgraphics.com/regression-analysis/#Multiple%20Regression>

Рецензент: доктор техн. наук, проф. Гюлев Н.У., Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова.

Автор: ДАВІДІЧ Юрій Олександрович
доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – davidich@mail.ru
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4136-4084>

Автор: САМЧУК Ганна Олександрівна
кандидат технічних наук, старший викладач кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – ganna.samchuk@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9890-6374>

Автор: КОПИТКОВ Денис Михайлович
кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – kopytkov_dm@ukr.net
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7861-4836>

Автор: ДАВІДІЧ Наталія Василівна
кандидат технічних наук, доцент кафедри управління проектами в міському господарстві і будівництві, Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова
E-mail – pmkaf@kname.edu.ua
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7613-2956>

Автор: ПЛИГУН Ольга Андріївна
студентка, кафедра транспортних систем і логістики, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – Oplygun@gmail.com

INFORMATION TECHNOLOGY OF DECISION SUPPORT TO DESIGN THE TRANSPORTATION ORDERS' SERVICING

Yu. Davidich, G. Samchuk, D. Kopytkov, N. Davidich, O. Plygun
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

The main purpose of most transport companies is to provide the quality services to customers with minimal costs. At the same time, determination of the number of vehicles and their utilization rate when satisfying transportation orders is the important task, the proper solution of which leads to the full and timely servicing and contributes to an increase of a transport company's competitiveness in the present-day market. Due to the analysis results of the state-of-the-art literature and Internet sources, it has been revealed that the problem of finding the

rational fleet size and the rate of its utilization to complete the transportation orders were not fully solved. From the criteria analysis it has been proposed to substantiate the vehicle fleet size according to the car utilization rate to be assigned as the "vehicle working time-to-total working time" ratio. Considering the probabilistic nature of the transportation process, a simulation model to complete the orders by a truck fleet has been developed in the AnyLogic environment. An experimental plan has been developed to reproduce the real transportation order conditions and consisted of 27 series, each of which was of 100 experiments. The variation range of input factors, which was the transportation distance, vehicles' number and orders' hourly intensity were [10;30], [1;3] and [0.6;1], respectively. From the experimental results processing by the regression analysis methods, it has been found that the dependence of changes in the car utilization rate, transportation distance, vehicle' number and orders' intensity was of linear form. The obtained dependence has been estimated via the determination coefficient, which was 0.95, and indicated the high quality of the model proposed. The resulting model allows calculating the required number of vehicles from their operating conditions. In the case study the 2 vehicles were recommended to service the transportation orders. Further research efforts can be taking into account a larger number of influencing factors, increasing their variation range and obtaining dependencies to describe the presented criterion change to acceptable accuracy.

Keywords: rational number, utilization rate, experiment, simulation modeling, regression analysis.